

Вест. КузГТУ. 2003. № 5. С. 82-85

5. Клейн М.С., Байченко А.А., Почевалова Е.В. Обогащение и обезвоживание тонких угольных шламов с использованием метода масляной грануляции. Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. № 4. С. 237-239.

□ Авторы статьи:

Клейн  
Михаил Симхович  
- канд.техн.наук, доц. каф.  
«Обогащение полезных ископаемых»

Алешкина  
Татьяна Евгеньевна  
- аспирант каф.  
«Обогащение полезных ископаемых»

УДК 504.064.4 : 622.7

**М.С. Клейн**

## ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕЛКОГО УГЛЯ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ВОД УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

При очистке техногенных вод углепереработки от угольных шламов для обеспечения оборотного водоснабжения технологического процесса используют флотационный метод селективного извлечения мелких частиц угля из шламовой воды при расходе масляных реагентов 1-5 кг/т. Исследование причин низкой эффективности флотации угольных шламов показало, что основной причиной снижения скорости процесса и увеличения потерь угля с отходами является повышенное содержание в техногенной воде тонких шламов. Образование агрегатов из мелких частиц угля с использованием масляных реагентов позволяет интенсифицировать процесс флотации угольных шламов. Однако заметный положительный эффект достигается при подаче в процесс масляной агломерации (МА) угля повышенных количеств масляных реагентов (30-

50 кг/т), что снижает конкурентоспособность этого метода по сравнению с обычной подготовкой пульпы перед флотацией.

Основная задача при совершенствовании процессов сепарации частиц угля и породы по смачиваемости заключается в разработке условий, обеспечивающих высокую эффективность агрегации и флотации угля малым количеством масляных реагентов. Для научно-обоснованного решения поставленной задачи проведено исследование механизма и кинетики процесса образования углемасляных агрегатов с помощью кинетической модели [1] и по результатам экспериментального определения степени агрегации мелких частиц угля [2]. Изучение вероятности осуществления отдельных стадий образования углемасляных агрегатов в зависимости от свойств взаимодействующих фаз и гидродинамических условий перемеши-

вания пульпы позволило сделать ряд важных выводов.

1. Показано, что недостаточная степень покрытия поверхности частиц угля маслом (5-10 %) при обычном кондиционировании пульпы снижает вероятность агрегации и флотации частиц угля. Кинетический коэффициент омасливания угольной поверхности  $M_o(t)$  [1] увеличивается в результате соударения частиц и передачи реагента с частицы на частицу в турбулентных потоках перемешиваемой пульпы. Изучение кинетики процесса омасливания угольной поверхности показало, что величина коэффициента  $M_o(t)$  растет с увеличением интенсивности перемешивания суспензии и дисперсности масляной фазы (рис. 1). При этом влияние крупности капель масла на величину  $M_o(t)$  становится малозаметным при высоких значениях диссипации энергии ( $\varepsilon_o=10$  Вт/кг). При сла-

Результаты флотации угольных шламов после процессов МА и МАА

Продукты	Время флотации, мин	Питание флотации		Крупность, мм					
				0 – 0,045		0,045 – 0,25		+ 0,25	
		$\gamma$ , %	$A^d$ , %	$\gamma$ , %	$A^d$ , %	$\gamma$ , %	$A^d$ , %	$\gamma$ , %	$A^d$ , %
<i>после МА</i>									
Концентрат	4,8	89,8	6,1	38,5	7,9	25,6	5,3	25,8	4,0
Отходы		10,2	68,2	8,9	70,2	0,8	61,5	0,5	44,9
Всего		100	12,4	47,4	19,6	26,4	7,0	26,2	4,8
<i>после МАА</i>									
Концентрат	3,3	91,5	6,3	41,2	7,9	26,0	5,9	26,0	4,4
Отходы		8,5	77,3	7,8	79,0	0,5	62,3	0,2	49,8
Всего		100	12,4	47,4	19,6	26,4	7,0	26,2	4,8

бом перемешивании пульпы скорость омасливания низкая, особенно при подаче масла без диспергирования.

2. Суммарное извлечение мелких частиц в углемасляные агрегаты определяется в основном извлечением их на омасленные крупные частицы (рис. 2), т.к. процесс адсорбции капель на поверхности угля проходит с большей скоростью, чем процесс закрепления мелких частиц угля на каплях масла. Этот важный вывод подтверждается повышением степени и скорости агрегации микрочастиц угля при добавлении даже небольшого количества крупных частиц.

3. Основной причиной недостаточной степени агрегации (<25 %) мелкого угля при расходе масла не более 5 кг/т является недостаток свободной поверхности масла, т.к. вследствие малой толщины масляной плен-

ки мелкие частицы угля при закреплении на омасленных частицах не втягиваются в объем масляной фазы и остаются на поверхности раздела масло-вода, постепенно занимая всю свободную площадь. В результате этого резко снижается вероятность закрепления мелких частиц на омасленных крупных частицах при их соударении.

Занятость поверхности масла осевшими частицами в момент времени  $t$  определяется по формуле:

$$C_o^3(t) = \frac{\gamma_m \bar{r}_p}{4(1 - \gamma_m) \bar{r}_m} \varepsilon_\phi^M(t)$$

где  $\gamma_m$  - содержание мелких частиц в исходном материале;  $\bar{r}_m$

и  $\bar{r}_p$  - средние радиусы соответственно мелких и крупных частиц;  $M_o(t)$  - кинетический коэффициент омасливания

крупных частиц;  $\varepsilon_\phi^M(t)$  - суммарное извлечение мелких частиц в масляную fazу.

Расчеты показывают, что в реальных условиях при полной занятости поверхности масла максимально возможная степень агрегации не превышает 40-50 %. Увеличить поверхность раздела масло-вода и снизить ее занятость частицами без увеличения расхода масла можно введением в суспензию дополнительных центров агрегации мелких частиц, в качестве которых можно использовать мелкие пузырьки воздуха.

Установлено, что эффективность образования углемасляных агрегатов резко повышается при подаче в пульпу диспергированного воздуха. Пузырьки воздуха после столкновения с каплями масла покрываются пленкой, толщина которой примерно на 2 порядка

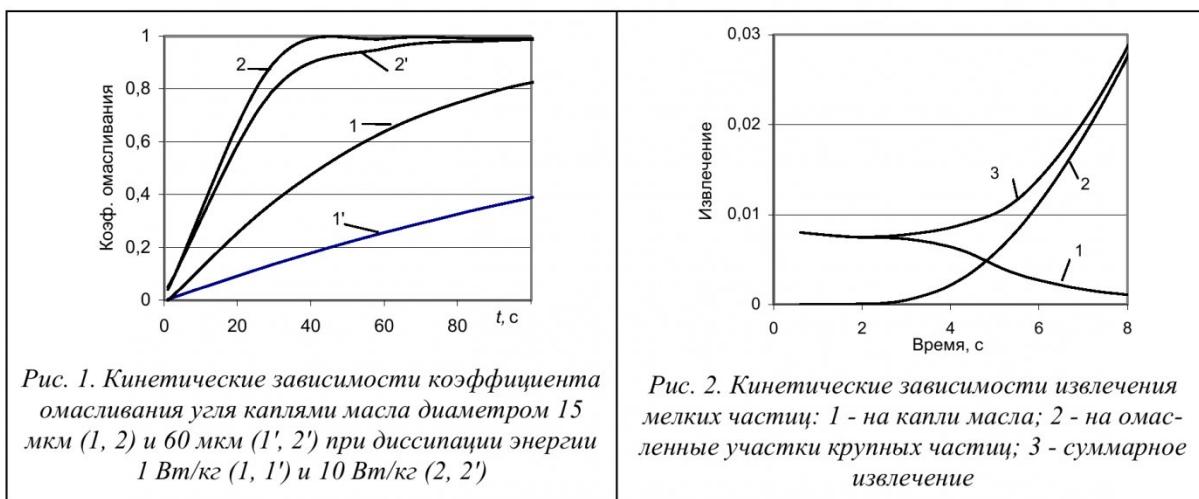


Рис. 1. Кинетические зависимости коэффициента омасливания угля каплями масла диаметром 15 мкм (1, 2) и 60 мкм (1', 2') при диссипации энергии 1 Вм/кг (1, 1') и 10 Вм/кг (2, 2')

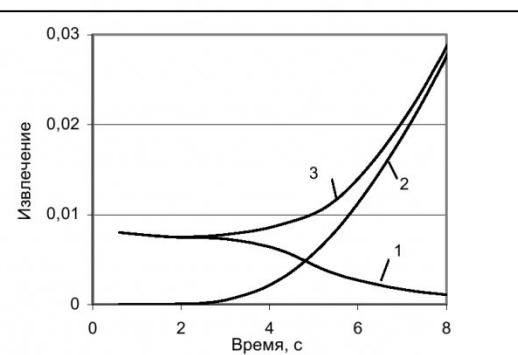


Рис. 2. Кинетические зависимости извлечения мелких частиц: 1 - на капли масла; 2 - на омасленные участки крупных частиц; 3 - суммарное извлечение

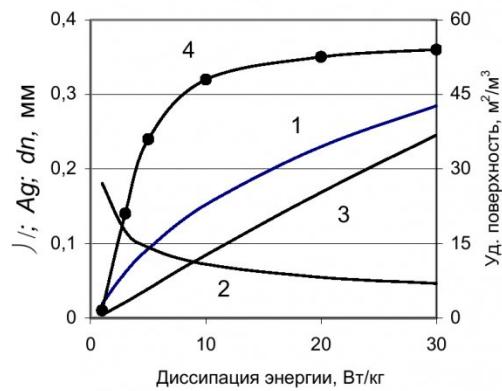


Рис. 3. Зависимость газосодержания  $\varphi$  (1), диаметра  $dn$  (2), удельной поверхности (3) пузырьков и степени агрегации  $Ag$  мелких частиц (4) от диссипации энергии

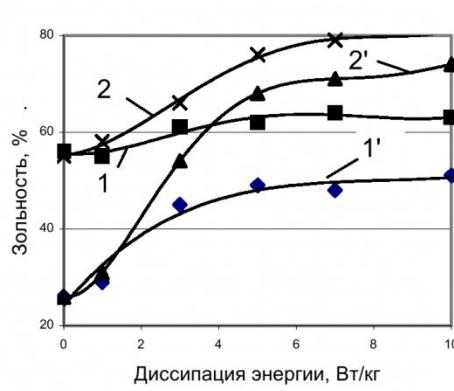


Рис. 4. Влияние диссипации энергии на зольность частиц в отходах флотации крупностью: - 50 мкм (кр. 1, 2) и + 50 мкм (кр 1', 2') после проведения MA (1, 1') и MAA (2, 2').

меньше толщины масляной пленки на угольной поверхности. За счет этого общая площадь поверхности раздела масла-вода многократно возрастает. На поверхности мелких омасленных пузырьков с высокой скоростью закрепляются частицы угля, образуя устойчивые углемасляные аэрокомплексы, которые легко отделяются от минеральной пульпы последующей флотацией. Показатели флотации угольных шламов после проведения масляной аэроагломерации (МАА) угля свидетельствуют о более высокой по сравнению с МА скорости флотации и повышении извлечения в концентрат как мелких, так и крупных частиц угля (таблица).

Улучшение флотации мелких частиц угля связано с повышением скорости и степени их агрегации [2]. С увеличением диссипации энергии  $\varepsilon_o$ , затрачиваемой на перемешивание пульпы, уменьшается размер пузырьков воздуха, а газосодержание увеличивается, что приводит к повышению степени агрегации мелких частиц (рис. 3). При низких значениях  $\varepsilon_o$  образования аэроагрегатов практически не происходит из-за малых вероятностей столкновения и закрепления частиц на крупных пузырьках воздуха.

Улучшение результатов флотации крупных частиц после МАА (таблица) происходит в результате закрепления на их поверхности мелких пузырьков воздуха и повышения эффективности их последующей фло-

тации по коалесцентному механизму. Закрепление пузырьков на угольной поверхности подтверждается снижением скорости осаждения крупных частиц угля после прекращения перемешивания суспензии.

Максимальный размер пузырьков  $r_n^{\max}$ , не отрывающихся от поверхности частиц под действием турбулентных пульсаций, при условии  $r_n^{\max} \ll r_u$  можно определить по формуле:

$$r_n^{\max} = \left( \frac{1,41\sigma \sin^2 \theta}{\varepsilon_o^{2/3} (\rho_c - \rho_g)} \right)^{3/5}$$

где  $r_u$  – радиус частиц угля;  $\rho_c$  и  $\rho_g$  – плотность воды и газа;  $\theta$  – угол между вектором поверхностного натяжения  $\sigma$  и касательной к твердой поверхности.

С увеличением интенсивности перемешивания пульпы дисперсность газовой фазы и газосодержание повышаются (рис. 3), поэтому число устойчиво закрепившихся на крупных частицах пузырьков растет. Это объясняет повышение зольности крупных частиц угля в отходах флотации при увеличении диссипации энергии в процессе МАА (рис. 4).

В промышленных условиях на стендовой установке экспериментально подтверждено, что подача воздуха в процесс масляной агломерации значительно повышает эффективность агрегации угля при одновременном снижении энергозатрат на перемешивание газосодержащей суспензии.

Многочисленными техноло-

гическими исследованиями процессов масляной аэроагломерации и флотации при очистке техногенных вод различных фабрик показана возможность эффективного извлечения мелкого угля из шламовых вод пониженным количеством масляных реагентов [3].

Применение масляной аэроагломерации угольных шламов в схемах очистки шламовых вод на двух углеобогатительных фабриках в течение нескольких лет позволило сократить расход масляных реагентов на 30 %, увеличить производительность флотомашин в два раза и значительно снизить потери угля с отходами флотации.

Использованием масляной агломерации для интенсификации обезвоживания флотоконцентрата достигается снижение влажности осадка вакуумфильтров и сокращение количества сжигаемого топлива при термической сушке [4].

В результате внедрения новой технологии очистки техногенных вод углепереработки повысилась эффективность использования ресурсов органической части углей и экологическая безопасность работы фабрик за счет сокращения сброса твердых частиц с отходами флотации и увеличения продолжительности эксплуатации гидроотвалов, снижения остаточных концентраций реагентов в сбрасываемых водах, сокращения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу сушильными установками.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клейн М.С. Кинетическая модель процесса масляной агломерации. Вестн. КузГТУ. 2003. № 6. С. 74-79.
2. Клейн М.С. Оценка эффективности процесса масляной агломерации мелких угольных частиц. Вест. КузГТУ. 2003. № 5. С. 82-85.
3. Клейн М.С. Способ обогащения угольных шламов. Патент № 2002108623. Опубл. 20.02.2004. Бюл. № 5.
4. Клейн М.С. Повышение экологической безопасности углеобогащения при интенсификации процессов механического обезвоживания угольных шламов. Вест. КузГТУ. 2004. № 6(1). С.109-111.

□ Автор статьи:

Клейн

Михаил Симхович

- канд.техн.наук, доц. каф.

«Обогащение полезных ископаемых»